

桜島火山デジタルコンテンツの作成

飯野直子・金柿主税^{*1}

Image Materials for Sakurajima Volcano Digital Contents

Naoko IINO and Chikara KANAGAKI ^{*1}

(Received October 1, 2008)

Sakurajima volcano in Kyushu, Japan has been continuously active since 1955. The volcanic plume clouds usually flow in the free atmospheric layer 1,000-3,000 m above sea level, while the explosive eruption clouds reach up to 4,000-5,000 m. These clouds visualize and exhibit the dynamical behavior of the free atmosphere at wide altitudes in the lower troposphere. Therefore volcanic clouds from Mt. Sakurajima are a good tracer. The ground observation of Sakurajima volcano has been performed since 2006. Various camera systems settled around the volcano could take Sakurajima plumes as visible and near-infrared images. Satellite images of horizontal diffusion of its volcanic clouds have been taken by satellites, such as NOAA, GMS, and LANDSAT. These images are very useful as teaching materials on the fields of volcanology and meteorology. Here, we summarize the construction of ground observation systems and the properties of satellite data first, and then we describe the data processing method for producing Sakurajima volcano digital contents. Finally, we show the contents and discuss their possibility as teaching materials.

Key words : teaching material, time-lapse image, satellite image, volcanic clouds

1. はじめに

平成20年3月に小学校及び中学校の新学習指導要領が公示された。「理数教育の充実」により理科の標準授業時数や内容が充実している。小学校理科では新たに14の内容が追加されるとともに、現行で課題選択の扱いとなっている第5学年の「物の運動」と「生命の誕生」及び第6学年の「地震と火山」が、「衝突」を中学校に移行する以外は必修となった。新小学校学習指導要領は平成23年度から全面的に実施されることになっているが、理数教科の先行実施により、平成21年度から第6学年の児童全員が「火山の噴火や地震による土地の変化」を学習することになる¹⁾。

日本列島は環太平洋火山帯に位置しており、世界の活火山の約10%が集中している。以下に示す国際的な基準にしたがって2005年に改定された活火山の定義により選定された活火山の数は108であり、日本国内に広く分布している。気象庁・火山噴火予知連絡会は、過去100年間に収集された詳細な観測データに基づく100年活動指数、及び過去1万年間の地層に残るような規模の大きい噴火履歴に基づく1万年活動指数を定義し、活火山をランクA(100年活動指数あるいは

1万年活動指数が特に高い火山)、B(100年活動指数あるいは1万年活動指数が高い火山)、C(いずれの活動指数とも低い火山)の3つのランクに分類している²⁾。九州地方は、ランクAの火山を3つ(阿蘇山・雲仙岳・桜島)、ランクBの火山を2つ(九重山・霧島山)有している。一方、東北地方や中国地方、四国地方、近畿地方にはランクAの火山はない。東北地方にはランクBの火山が10火山あるが、中国地方には2005年に新たに選定されたランクCの火山が2つあるのみであり、四国地方と近畿地方については火山がない。また、13火山がランクAに分類されているが、現在、日常的に活発に噴煙活動している火山は三宅島、桜島、諏訪之瀬島などのいくつかの火山であり、それほど多くない。そのため火山活動の実感に乏しい地域が少なくないと思われる。自然災害に対する防災や減災など、日常生活や社会との関連を重視するという点や、過去の火山活動による土地の変化を推論を通してとらえ、将来にも起こる可能性を考える上でも、過去の代表的な火山活動を扱った従来の火山教材に加えて、日本国内で今現在も活発に活動している火山の映像情報も知ることによって、児童生徒の火山への関心や防災意識が高まることが期待される。

^{*} 熊本県甲佐町立甲佐中学校教諭/鹿児島大学教育学部研究協力員

著者らは、2006年6月に58年ぶりに昭和火口からの噴火が観測されて以降、桜島火山周辺に地上映像観測システムを展開し、高温型火山ガスと空中火山災害の防止に関する研究を行っている。得られた画像を基に、火山活動や気象、大気環境の教材・素材としての利用も検討している³⁾。また、2006年以前より桜島噴煙の移流拡散解析を行ってきた。噴煙活動は空間スケールが大きいので、衛星データによる検出・解析を行っており、解析結果の衛星画像の教育利用についても検討してきた^{4, 5)}。

本稿では、理科教育・防災教育・環境教育のための桜島火山のデジタルコンテンツの作成にあたり、まず地上映像観測システムの構成や気象衛星や地球観測衛星の主要諸元をまとめる。次にデータ処理やデジタルコンテンツの作成方法、衛星データを用いた火山噴煙の検出方法について述べ、最後に作成したデジタルコンテンツの例を示し、授業での利用を検討する。

2. 地上映像観測システム

桜島周辺の4箇所に設置している桜島地上映像観測システムの位置を図1に示す。図中の地点名は、B：鹿児島市鴨池港付近、T：垂水市役所、K：鹿児島市錦江台、E：鹿児島市立黒神小学校を表す。各観測地点の南岳からの位置や観測期間、撮影間隔、映像の種類、システムを表1に示す。地点名の下のカッコの中には、南岳からの方角〔16方位〕と距離〔km〕を示す。表1のなかの映像は、VIS：可視画像、NIR：近赤外画像を表す。システムは、A：デスクトップパソコンにUSBカメラ接続、B：ノートパソコンにUSBカメラを接続、C：デジタルカメラ、D：デジタルビデオカメラである。

1) パソコンとUSBカメラを用いたシステム

観測点Tに設置した可視映像観測システムを図2に示す。WindowsXP搭載のノートパソコンにUSBカメラを接続し、データ回収の便宜上、外付けハードディスクに記録している。USBカメラは130万画素CMOSセンサ搭載のLogicool QVX-13Nを使用している。撮影及び画像保存は、定点観測用ソフトウェアListCam⁶⁾を使用して行っている。画像はVGAサイズ(640×480 pixel)で、5:30～18:30の日中に30秒間隔で撮影している。2008年4月26日までは、粒子画像速度計測に用いるために画像劣化のないBMP形式、それ以降は噴煙活動記録としてJPEG方式で外付けハードディスクに保存している。観測点K及び観測点Eのシステムも基本構成は同様である。可視に加えて近赤外の映像も適宜撮影している。近赤外撮影の利点

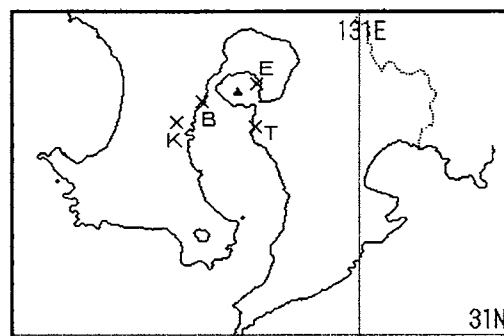


図1 桜島地上映像観測システム設置ポイント

表1 観測条件

地点名	観測期間	撮影間隔	映像	システム
B (SW10)	2007.8.26～	10 sec	NIR	A
T (SSE10)	2006.10.18～	30 sec	VIS	B
	2008.4.26～ 7.12	1 min	NIR	
K (SW17)	2007.2.18～	10 sec	VIS	B
	2007.2.18 ～7.13		NIR	
E (ENE5)	2006.7.24 ～8.1	10 sec	NIR	B
	2006.7.24 ～8.1	60 min	VIS	C
	2006.7.24 ～10.1	5 min	VIS	D
	2006.10.1～ 2007.2.27		NIR	

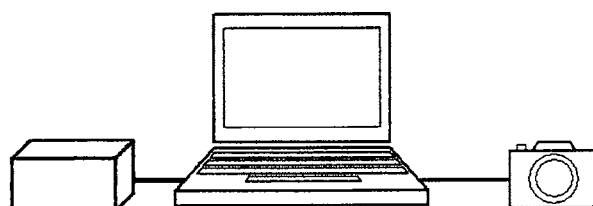


図2 パソコンとUSBカメラを用いたシステム

は、粒径の小さなエアロゾルによる散乱光や海もやなどの影響を軽減できる、溶岩流のような高温を捉えられる、植生や土地の起伏がわかりやすいことがあげられる。CMOSセンサ搭載のカメラ(Creative VideoBlaster WEBCAM Plus)の場合、IRフィルタを装着することにより、簡単に近赤外映像を得ることができる。フィルタはFujifilmのIR-76を使用している。これは可視光を吸収し、近赤外760 nm以上の光をできるだけ完全に透過するように設計されたシャープカットフィルタである。

観測点Bにはデスクトップパソコン(RAM 96MB/HDD 6GB, Celeron 400 MHz)に30万画素の

USB カメラを接続して撮影を行っている。必要なパソコンの性能は使用するデバイス等に依存する。システムを安定して稼働させるためにはパソコンの性能に合う USB カメラを選定する必要がある。

パソコンを使ったシステムを構築する利点は、定点観測用ソフトウェアを使用することによって撮影条件を細かく設定したり、撮影画像に任意のファイル名を指定したりできる点にある。著者らは、爆発噴煙の発達を捉えるために 10 秒～30 秒の短い時間間隔で撮影している。そのため、画像数が膨大となる。昼間の観測に限ったり、系統的なファイル名を用いたりすることにより、データ保存や整理、解析の効率がよくなる。また、撮影終了時にシステムの自動再起動を行うことにより、Windows98 搭載のパソコンであっても安定した長期間無人運用が可能となる。なお、このシステムはネットワークに接続することによってライブカメラとしての役割も期待できる。しかし、設置場所のネットワーク環境の制限やセキュリティ対策、長期自動観測を安定して行うためにオフラインで運用している。

2) デジタルビデオカメラ・デジタルカメラを用いたシステム

インターバル撮影機能を有するデジタルカメラやデジタルビデオカメラを使用することにより、さらに容易に連続自動観測を行うことができる。科学写真として使用するために、ホワイトバランスは屋外、フォーカスは無限大に固定し、フラッシュは発光禁止に設定する。

観測点 E には、パソコンを使ったシステムに加えて、デジタルカメラとデジタルビデオカメラを用いたシステムを設置した。デジタルカメラは、透明ケースにコンパクトデジタルカメラとリチウムイオンバッテリーを組み合わせたパッケージとした。このパッケージは AC 電源を必要としないため、屋外にも設置が可能である。観測点 E のデジタルカメラパッケージ (Casio QV-2900UX + 外付け大容量バッテリー) は屋内に設置したが、同時期に黒神中学校の屋上にもデジタルカメラパッケージ (Casio QV-R4 + 外付け大容量バッテリー) を設置した。真夏の炎天下という、バッテリーにとって非常に厳しい環境下であったが、2006 年 7 月 24 日から 8 月 22 日まで、約 1 ヶ月間駆動した。

デジタルビデオカメラは SONY DCR-TRV30 を用いて、ミニ DV テープに 5 分間待機・0.5 秒間撮影の設定で記録した。80 分テープの LP モードで約 45 日間記録できる。今回使用した機器では、撮影間隔として 30 秒、1 分、5 分、10 分の設定が可能である。したがって、最長 90 日間は無人自動観測が可能である。2006 年

10 月 1 日以降は、夜間の火映をねらい、ナイトショットモードを利用して近赤外撮影を行った。デジタルカメラやデジタルビデオカメラのナイトショットモードでは、近赤外カットフィルタを外すことによって CCD 素子本来の可視～近赤外にわたる感度を活かしており、一般には暗い場所での撮影に使用される。日中の近赤外撮影は、ビデオカメラ本体のナイトショットモードをオンにし、可視光をカットする IR フィルタを装着して行う。ナイトショットモードで絞りが開放されて自動露出調整機能がない CCD カメラの場合は、減光のための ND フィルタを装着して光量を絞る必要がある (図 3)。

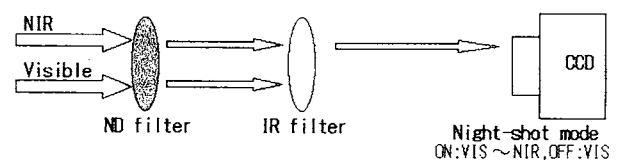


図 3 CCD カメラを用いた近赤外撮影

3. 衛星データ

桜島南岳 (標高 1060m) は 1955 年 10 月 13 日の山頂火口の爆発以来、50 年以上にわたって活発な火山活動が続いている。桜島噴煙の到達高度は海拔 1500 ～ 3000 m にもおよび、爆発噴煙では 4000m にまで達することもある。このような噴煙の数十～数百 km にわたる移流は、地上観測だけでは全貌を捉えることが困難であるが、衛星データを利用することにより水平方向の移流拡散形態を知ることができる。また、衛星画像によって広域の土地被覆状態を知ることができる。1955 年以降に鹿児島地方気象台で観測された爆発回数⁷⁾の経年変化を図 4 に示す。2003 年以降は比較的静穏な状態が続いている。本稿では、活発な噴煙活動がみられた 1990 年代の代表的な衛星画像を示す。

1990 年代に運用されていた代表的な衛星として、米国の地球観測衛星 LANDSAT-5/TM と気象観測衛星 NOAA/AVHRR、日本の静止気象衛星 GMS-5/VISSR の諸元をまとめる。各衛星に搭載されているセンサの波長図を図 5 に示す。LANDSAT-5/TM は可視の青、緑、赤に対応する 3 バンド (TM-1, 2, 3)、近赤外に 1 バンド (TM-4) 中間赤外に 2 バンド (TM-5, 7)、熱赤外に 1 バンド (TM-6) の計 6 バンドを持っている。LANDSAT-5 は軌道高度 683 ～ 698km、衛星傾斜角約 99 度、周期約 100 分の太陽同期準円軌道衛星であり、回帰日数は 16 日で、走査幅は 185 km である。TM センサの地上分解能は、熱赤外の TM-6 が 120m である以外はすべて 30 m である。土地被覆の状況や比較的

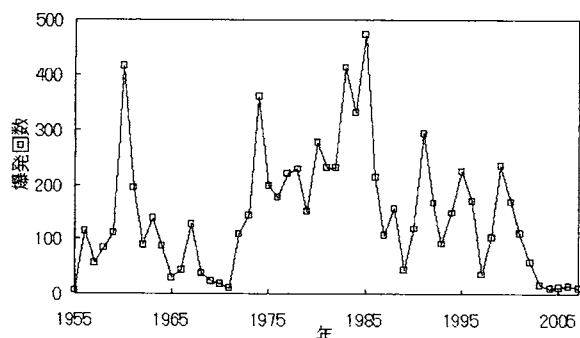


図4 桜島の年爆発回数の推移

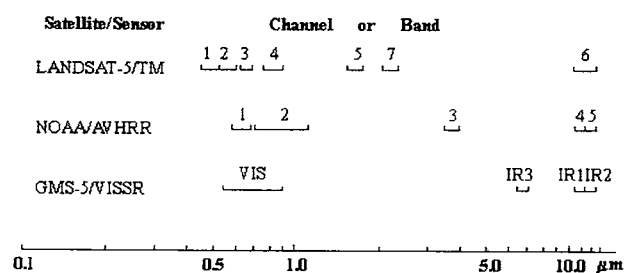


図5 LANDSAT, NOAA, GMS の波長図

規模の小さな噴煙を観測するのに適している。なお、LANDSAT-5/TMの後継であるLANDSAT-7/ETM+のデータは現在広く利用されているGoogle MapやGoogle Earthの衛星写真のベースとして使用されている。

NOAAは軌道高度800～850km、軌道傾斜角約99度、周期約100分の極軌道衛星であり、観測周期は12時間である。観測幅は東西約3000kmであり、地上分解能は軌道直下で1.1kmである。現在18号まで打ち上げられており、常時複数機で観測を行っている。図5には、可視、近赤外、中間赤外に各1チャンネル、熱赤外に2チャンネル、計5チャンネルを持つAVHRR Version2の波長図を示している。15号以降は、これらに加えて短波長赤外チャンネルを持つAVHRR Version3が搭載されている。本稿では熱赤外の2チャンネル(11, 12 μm のスプリットウィンドウ)データを利用した噴煙の検出・解析方法のみを述べるが、短波長赤外や中間赤外チャンネルも使用することにより噴煙の識別精度を向上させることができる⁸⁾。なお、2000年以降の噴煙については、NOAA/AVHRRに類似のTerra, Aqua/MODISによるデータも利用できる。MODISセンサは可視から熱赤外域に36バンドを有しており、可視の地上分解能の最高は250mである。LANDSATと同様に可視域に青・緑・赤に対応するバンドを持つので、人間が目で見えた場合と同じ色づけの画像を得ることができる。

日本の静止気象衛星GMSやMTSATは、日本では

「ひまわり」の愛称で呼ばれており、テレビや新聞の天気予報や理科教科書などでも利用され、日常生活になじみ深いものになっている。アジアとオセアニア地域を観測対象としており、東経140度の赤道上空約36,000km、傾斜角度約1度、周期約24時間で静止軌道上から観測を行っている。1989年12月4日から1995年6月12日まではGMS-4/VISSRにより観測が行われていた。可視～近赤外域に1バンドと熱赤外域に1バンドの計2バンドを有しており、地上分解能は赤道直下で可視～近赤外バンドが1.25km、赤外バンドが5km、観測周期は通常モードで1時間である。広範囲を固定視野で高頻度に観測しているため、規模の大きな噴火に伴う火山噴煙の移流状況を詳しく把握することができる。GMS-4の後継のGMS-5/VISSRは1995年6月13日から2003年5月21日まで観測を行っていた。地上分解能や観測周期はGMS-4/VISSRと同様であるが、可視～近赤外域の1バンドの他に、水蒸気分布を観測するための6.5～7.0 μm の中間赤外域に1バンド追加、熱赤外域を2バンドに分割して、計4バンドとなり波長分解能が向上した(図5)。NOAAと同様に熱赤外スプリットウィンドウデータを得られるため、火山噴煙や黄砂の検出、移流拡散の解析に有用である。現在、天気予報などで目にする雲画像は、2005年6月28日から観測が行われているMTSAT-1Rによる観測画像である。雲の識別に有効な3.5～4.0の中間赤外域にも1バンド追加され、地上分解能が可視が1km、それ以外のバンドが4kmに向上している。1時間毎の全球観測に加えて、北半球は30分毎(ただし、3時半、9時半、15時半、21時半は、数値予報に必要な上空の風の観測を行うために南半球観測)の観測も行われている。なお、GMS-5が運用停止後、MTSAT-1Rの運用が始まるまでの間は、米国の静止気象衛星GOES-9を東経155度の赤道上の静止軌道に移動して観測が行われていた。

4. コンテンツ作成

1) 桜島噴煙映像の静止画

パソコンを用いたシステムで撮影した画像は、BMP形式もしくはJPEG形式の静止画として記録されている。撮影日時を基本としたファイル名で保存しているため、撮影画像をそのまま使用できる。デジタルカメラを用いた撮影画像は、JPEG形式の静止画として保存している。ファイル名は機種に依存したアルファベットのあとに連番の数字が付加されている。画像内に撮影日時を入れて撮影しているが、画像解析やコンテンツ作成、教材・素材として利用するには、ファイル名が撮影日時を表していることが望ましい。

著者らは、フリーソフトウェアの統合画像ビューア ViX⁹⁾ または拡張子判別変換機能搭載のファイル管理ツール 極窓¹⁰⁾ を使用して、ファイル名の一括変換を行っている。ViXはHTML言語により画像一覧を作成する機能も有するため、画像整理やホームページ編集も短時間で簡単に行うことができる。デジタルビデオカメラのミニ DV テープに撮影した画像のデジタイズは、ビデオキャプチャボードを有するパソコンへ動画 (MPEG 形式) として取り込み、必要なシーンを静止画 (JPEG 形式) として記録する方法とデジタルビデオカメラにセットしたメモリ素子に静止画 (JPEG 形式) をキャプチャしてからパソコンに取り込む方法がある。その後の画像処理は上述した通りである。

2) 噴煙の動画

爆発噴煙の発達や噴煙の移流拡散の観察は、時系列に静止画を並べた画像一覧を見ることによって可能であるが、児童生徒に火山噴煙活動のダイナミックな動きを提示するためには、動画として示すことが有効である。Windows XP や Vista といったパソコンの OS に付属しているスライドショー機能を利用することにより、簡単に噴煙の動きを表示することができる。しかし、膨大な数の画像のなかから使用する画像を選定し、一連の噴煙活動を撮影した複数枚の画像をいちいち保存して使用するのは効率が悪い。そこで、代表的な噴火・噴煙移流のシーンを MPEG-1 形式の動画として編集した。BMP 形式や JPEG 形式の連続画像から MPEG-1 の動画を作成するために、無料版ソフトウェアの TMPGEnc version 2.525¹¹⁾ を使用した。画像サイズやフレームレート、ビットレートなどを設定することもできる。例えば、30 秒間隔で撮影している観測点 T の可視画像を、640×480 pixel, 29.97 fps, 1150 kbits/sec で動画にした場合、通常の現象を約 900 倍の速さで見ることができる。

3) 衛星データによる噴煙の検出

衛星画像の解析は、RSI 社のリモートセンシング解析・可視化ソフトウェア ENVI を用いた。LANDSAT-5/TM データは、赤、緑、青にそれぞれ TM-3, 2, 1 を割り当ててカラー合成画像を作成した。人間の目で見た色づけとなり、灰を多く含む噴煙は灰色、少ない噴煙は白く見える。雲との識別は色や形態から判断する。衛星画像と標高データを組み合わせた桜島の 3D 画像は、鹿児島大学教育学部物理学教室で開発された教育用衛星画像表示システム¹²⁾ を用いて作成した。Google Earth を利用すると世界中の 3D 画像を得ることができる。SiPSE がカバーするのは日本国内のみで

あるが、可視バンドの他に近赤外バンドのデータも利用することができるため、地形を理解しやすい。

気象衛星の熱赤外スプリットウィンドウバンドデータを用いた噴煙の検出について述べる。NOAA/AVHRR の Channel-4 (11 μm) と Channel-5 (12 μm) の差画像あるいは GMS-5/ VISSR の熱赤外バンド IR-1 (11 μm) と IR-2 (12 μm) の差画像を求め、以下の式により数値化したものを各画素の Aerosol Vapor Index (AVI) 値と定義する。これらの AVI の定義式は火山灰煙や黄砂などの鉱物質のエアロゾルに限定して用いる。

$$\text{NOAA(AVI)} = n(5) - n(4) + Z \quad \text{for NOAA/AVHRR} \quad (1)$$

$$\text{GMS(AVI)} = \text{IR}(2) - \text{IR}(1) + 100 \quad \text{for GMS-5/VISSR} \quad (2)$$

ここで、 $n(i)$ ($i = 4, 5$) は NOAA の熱赤外バンドの DN 値であり、 $\text{IR}(i)$ ($i = 1, 2$) は GMS-5 の DN 値である。NOAA/AVHRR はデータの提供元によって衛星データの量子化レベルが異なるため、各画素のビット数が 10 ビットのときは $Z=200$ 、8 ビットのときは $Z=100$ とする。AVI 値はエアロゾルの密度が高いときに大きくなり、画像上では明るく (白く) 表示される。10bit_NOAA, 8bit_NOAA, GMS-5/VISSR の DN 値と輝度温度 $t(i)$ [$^{\circ}\text{C}$] との関係式を以下に示す。

$$t(i) = 0.1 \times n(i) - 50, \quad i = 4, 5 \quad \text{for 10bit_NOAA} \quad (3)$$

$$t(i) = 0.2 \times n(i) - 10, \quad i = 4, 5 \quad \text{for 8bit_NOAA} \quad (4)$$

$$t(i) = 0.5 \times \text{IR}(i) - 85, \quad i = 1, 2 \quad \text{for GMS-5/VISSR} \quad (5)$$

AVI 画像は水蒸気と鉱物質エアロゾルの 11 μm と 12 μm における相反する吸収特性を利用した鉱物質エアロゾル検出手法であり、火山灰を含む噴煙や黄砂の検出に非常に有効である。

5. デジタルコンテンツ

1) 火山・噴煙活動

桜島昭和火口付近をおよそ 8 km 東南東の牛根麓から 2008 年 2 月 10 日に撮影した画像を図 6 に示す。南から見た桜島 3D 画像を図 7 に示す。2006 年 6 月 4 日にできた昭和新火口の位置を○で示している。南岳山頂 A 火口から東南東約 600m、標高約 800m の東側斜面に位置する。この位置は、昭和溶岩 (1946 年) を流出した昭和火口内である。以後、昭和新火口も昭和火口と呼ぶ。

LANDSAT-5/TM のトゥルーカラー画像を白黒画像

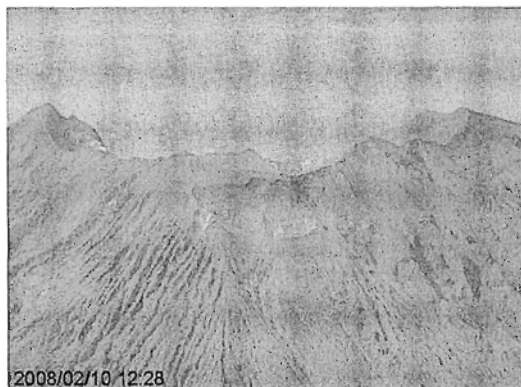


図6 桜島昭和火口付近の様子



図7 桜島3D画像

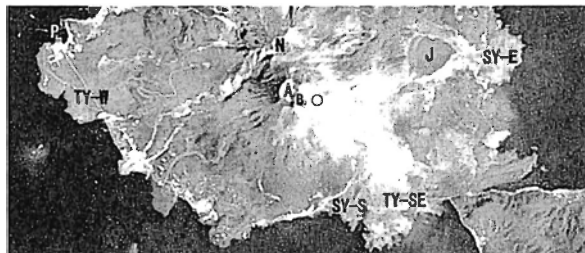


図8 LANDSAT-5/TMによる桜島

に変換した桜島画像を図8に示す。山頂のN, A, Bはそれぞれ北岳火口、南岳A, B火口を示す。Jはくぼ地に土砂が堆積している地獄河原である。SY-E, SY-Sは東と南に流れて海に達した昭和溶岩, TY-W, TY-SEは西と南東に流れて海に達した大正溶岩である。TY-SEは大隈海峡を埋め、桜島は大隈半島と陸続きになった。溶岩の流出時に植生が全滅したが、大正溶岩(1914年)は流出から90年程度が経過しており、クロマツの若木を中心とした植生の回復が見られる。衛星画像上でも緑が濃くなってきている。

衛星画像や3D画像を利用することにより、火山やその周辺の土地被覆状況や地形を理解しやすい。また、3D画像は様々な方角から見ることができ、火山地形を理解するのに役立つ。

2008年4月11日17時21分に桜島昭和火口で爆発

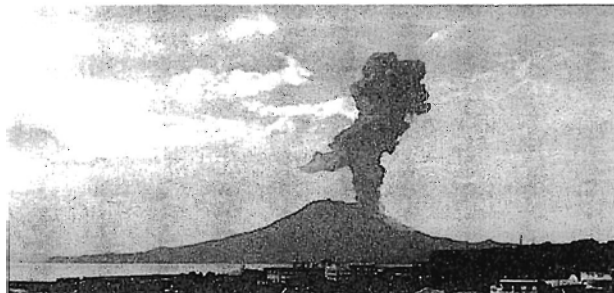


図9 昭和火口噴火 2008/4/11 17:23:00

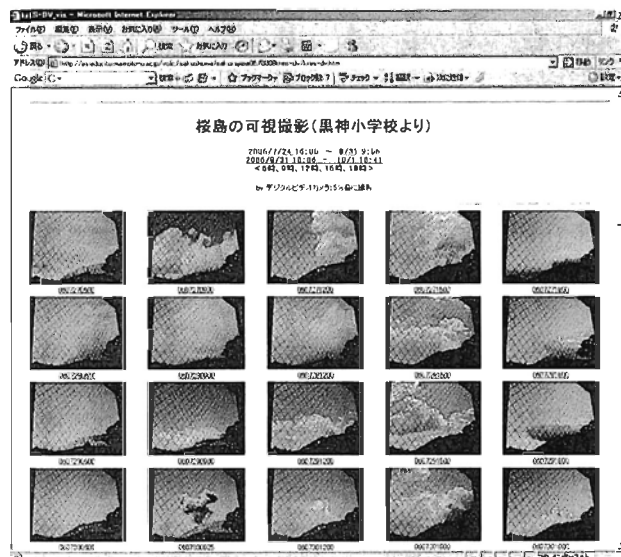


図10 システムCで撮影した画像の一覧

的噴火が発生した。鹿児島地方気象台の観測によると、この噴火による噴煙の高さは火口縁上2200mで、南東に流れ、弾道を描いて飛散する大きな噴石が5合目まで達したことが記録されている¹³⁾。観測点Tの可視撮影による画像を図9に示す。噴煙の高さが最高になった17:23:00の画像である。同年4月6日の11時25分に昭和火口で発生した爆発的噴火では、火砕流が東へおよそ1.3 km 流下したことが確認されている¹⁴⁾。観測点Bからの観測映像には噴煙が吹き降ろす様子が捉えられている。これらの噴火・噴煙活動は動画を作成してホームページ¹⁵⁾に公開している。このサイトでは2006年6月の昭和火口の噴火以降の観測画像を掲載している。図6～8のカラー画像も掲載している。

2006年夏に昭和火口から約5 kmの黒神小学校からデジタルビデオカメラ撮影した画像を図10に示す。児童生徒が小学校のすぐそばで起こっている火山活動を知ることにより、火山は身近なものであることや火山との共生を実感したり、防災意識が高まったりすることなどが期待できる。著者らの観測結果の他に、2006年6月9-14, 16, 19-22, 24-25日に鹿児島市立黒

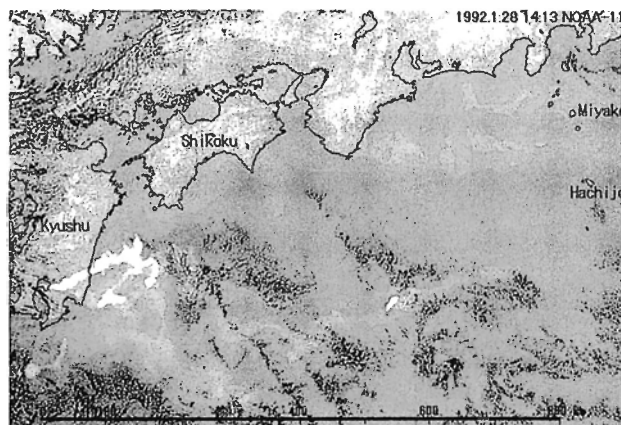


図 11 1992 年 1 月 28 日の NOAA-11 AVI 画像



図 12 1996 年 12 月 14 日の NOAA-12 AVI 画像

神中学校の出水澤孝洋校長先生（当時）が撮影された噴煙映像や 6 月上旬に黒神小学校の齋藤博教頭先生（当時）が撮影されたビデオ映像から編集した動画集も掲載している。気象庁や研究機関などが観測システムを設置する以前の観測初期の活動状況の記録は大変貴重である。また、火山活動の最中に、屋外のすぐそばで撮影された画像は火山活動の迫力・臨場感を非常によく表している。

爆発噴煙は高い高度まで到達するため、水平方向にはあまり拡散せずに線状に長距離移流する場合が多い。また、火山灰を多く含むため、AVI 画像によって長時間捉えることができる。1992 年 1 月 28 日 14:13 の NOAA-11 の AVI 画像を図 11 に示す。鹿児島地方気象台の観測によると、前日から引き続き桜島の活動が活発で、断続的に噴火おこしつつ、海拔 1,700～2,000m 程度の高さに灰白色の噴煙の放出が続いていた¹⁶⁾。画像ではおよそ 800km におよぶ噴煙が捉えられている。図 12 に 1996 年 12 月 14 日 7:16 の NOAA-12 の AVI 画像を示す。この日の未明に火山雷を伴う激しい爆発が

記録されており、活発な灰煙が引き続き放出されたことが報告されている。このとき放出された噴煙が四国沖まで移流している様子が AVI 画像に示されている。ここには図を示さないが、単バンドの熱赤外および可視～近赤外バンドの GMS データから、5 時～12 時にかけて、伊豆半島の南端あたりまで延びていく様子がわかった。

児童生徒は、地層は火山噴火の噴出物によってできることや、火砕流噴火に伴う火山灰が地層ができた時代を知る手がかりとなることなどを学習する。日常的な火山活動に伴う火山噴煙であっても、数百 km にわたって長距離移流することを知ることにより、火山灰の広がりを実感する助けとなると思われる。

2) 気象

長期間にわたり桜島の自動映像観測を行うことによって、さまざまな雲の記録も得ることができる。観測点 T の可視画像に見られた様々な種類の雲の例を図 13 に示す。図 13(a), (b), (c) はそれぞれ巻雲、積雲、地形性雲（笠雲）である。

新学習指導要領では小学校理科で「雲と天気の変化の関係」が新規に加えられた。気象衛星や天気図などの情報に加えて、温帯低気圧に伴う前線が通過する期間内の雲画像を動画で示して児童生徒が行った観察を補うことによって、雲の動きや雲の量や種類と天気変化の関連をより捉えやすくなると考える。霧や雲の成因の学習において、その発生の様子を室内実験で確かめるのに加えて、図 13 (c) にみられる地形性雲の動画を観察することにより、山の斜面に沿った大気の上昇に伴う断熱膨張によって温度が下がり、露点よりも温度が低くなると水蒸気が凝結して見えるようになり（雲発生）、下降すると断熱圧縮により温度が上がり、露点よりも温度が高くなると水蒸気となって見えなくなることがわかり、水蒸気の凝結現象についての理解が深まるとと思われる。

桜島噴煙は、大気の動きを可視化するトレーサとしての役割も果たす。図 14 に観測点 T において 2008 年 5 月 8 日 6:55 に撮影された桜島爆発噴煙画像を示す。噴煙が大きく屈曲している様子が捉えられている。これは風の鉛直シヤー（高さ方向による風向・風速の違い）によるものである。動画では高さによって異なる方向に噴煙が移流拡散の様子がよく示されている¹⁵⁾。屈曲した桜島噴煙の形態は、衛星にも捉えられている。1992 年 7 月 24 日の LANDSAT-5 の TM-2 画像を図 15 (a) に示す。噴煙の下流部は南方向へ流れているのに対して、上流部は北西方向へ流れている。1990 年 4 月 27 日の NOAA-11 の AVI 画像を図 15 (b) に示す。この日、九州は移動性高気圧の後面に位置し、西から低

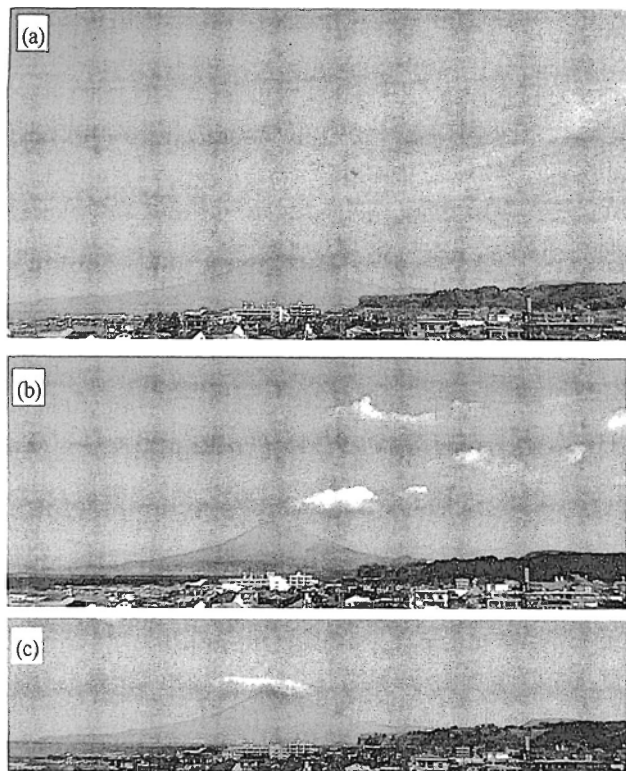


図 13 気象雲 (a) 巻雲 (b) 積雲 (c) 笠雲

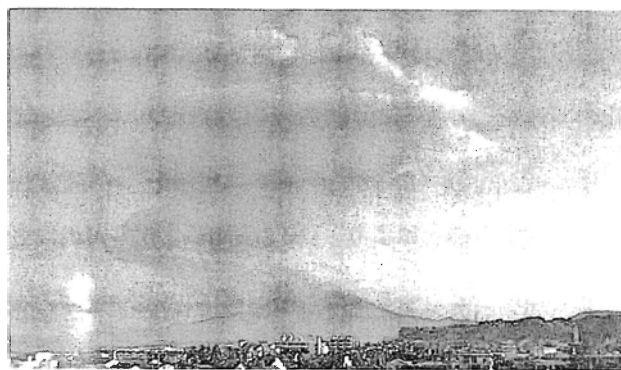


図 14 桜島の爆発噴煙画像

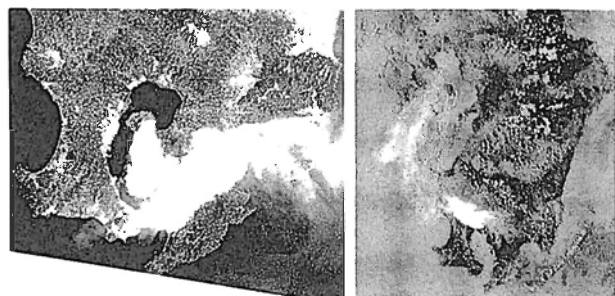


図 15 桜島噴煙の衛星画像 (a) 1992 年 7 月 24 日の LANDSAT-5 (b) 1990 年 4 月 27 日の NOAA-11

気圧が近づいてきていた。高気圧の辺縁部の風に沿って、桜島噴煙が大きくカーブしている様子が捉えられ

ている。

3) 大気環境

桜島観測画像より大気環境に関する情報を得ることもできる。図 16 (a) と (b) は共に快晴の日の可視画像を示している。図 16 (a) は 2007 年 3 月 11 日 12 時の画像である。地上気象観測データ¹⁷⁾によると、この日時に黄砂現象は観測されておらず、視程 50 km である。画面中央には、観測点 K から約 50 km 北の霧島連山を確認できる。2007 年 3 月 30 日 12 時の画像を図 16 (b) に示す。この日は黄砂が飛来し、視程が 8 km と記録されている。約 17km 離れた桜島はまったく見えていない。大気の混濁度を調べる際に、時系列観測画像を参照することも有用であると思われる。

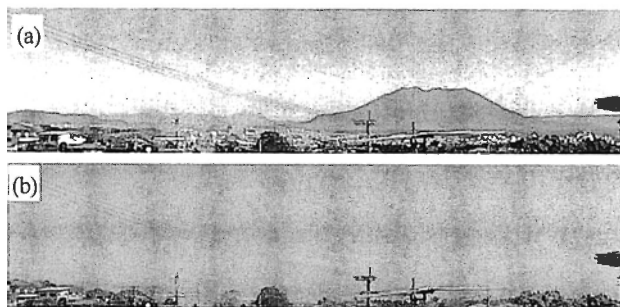


図 16 桜島画像 (a) 晴天日 (b) 黄砂日

6. おわりに

本稿では、地上映像観測システムの構成や各種衛星データの諸元、データ処理や解析、コンテンツ作成方法などについて詳しく述べた。これは、学校現場において教諭が独自の教材・素材を得るために同様の映像観測システムを構築するための情報や、気象分野の学習で広く利用されている衛星画像についての基礎的な情報の提供も目的としたためである。

本稿で示した映像観測システムは、撮影システムの設置や運用に特別な知識を必要としない。学校現場で使用されなくなった古いパソコンを活用するとすれば、数千円の USB カメラの予算で構築・運用が可能である。小型軽量のため、理科準備室や教室などに設置できるという特徴は大変有用である。ここで紹介したシステムを用いた自動映像観測の観測対象は、継続的な観察が必要な事象、例えば、影や太陽、月の動き、チョウの羽化や発芽なども考えられる。児童生徒が実際に行う観察に加えて、長期にわたる観察過程や結果を児童生徒になじみのある風景・状況下での教材として利用することができれば、それらの事象に対する児童生徒の興味関心が高まると共に、理科と日常生活との関わ

りをより実感できるものと考える。

現在、熊本市内においても空の連続映像観測を行っている。今後は、熊本の画像も含めてデジタルコンテンツ作成を進めると共に、コンテンツを提供するための専用サイトを立ち上げる予定である。また、作成したデジタルコンテンツを利用した授業を実施する予定である。

謝 辞

地上映像観測システムの設置に関して、鹿児島市立黒神小学校、垂水市役所、木下紀正鹿児島大学名誉教授のご協力に深く感謝いたします。また、衛星データ解析の共同研究について木下名誉教授に感謝いたします。本研究の一部は文部科学省科学研究補助金若手(B)18710152 から助成をうけて行った研究成果を含みます。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 文部科学省 (2008) : 小学校学習指導要領解説理科編, 大日本図書, 105
- 2) 気象庁 日本の活火山分布 : <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/intro/gyomu/index95zu.html>
- 3) 飯野直子・金柿主税 (2008) : 地学・環境教育における桜島地上観測映像の利用, 日本地学教育学会第 62 回全国大会講演要旨集, pp.100-101
- 4) 飯野直子 (2000) : 地学教育および環境教育における衛星データの利用, 日本地学教育学会第 54 回全国大会講演要旨集, pp.48-49
- 5) Naoko Iino, Kisei Kinoshita and Chikara Kanagaki (2006) : Satellite images of air pollutants and land cover for environmental education and disaster prevention, Proceeding of ISPRS Technical Commission VI Symposium, "E-LEARNING AND THE NEXT STEPS FOR EDUCATION", pp.102-107.
- 6) ListCam インターネット Web カメラ定点観測画像記録システム : http://www.clavis.ne.jp/~listcam/index_j.ssi
- 7) 福岡管区気象台 鹿児島地方気象台で観測した桜島の月爆発回数 : http://www.fukuoka-jma.go.jp/kagoshima/kazan/data/skr_exp_num.htm
- 8) Naoko Iino, Kisei Kinoshita, Andrew Tupper and Toshiaki Yano (2004) : Short-wave and mid-infrared imagery to distinguish silicate dusts and volcanic aerosols from meteorological clouds, Proceeding of SPIE Vol.5652, Passive Optical Remote Sensing of the Atmosphere and Clouds IV, pp.48-56
- 9) 統合画像ビューア ViX : http://www.katch.ne.jp/~k_okada/
- 10) 拡張子判別変換機能搭載のファイル管理ツール 極窓 : <http://www.55555.to/>
- 11) MPEG-1 エンコーダ : http://www.tmpgenc.net/ja/j_download.html
- 12) 木下紀正・富岡乃夫也・戸越浩嗣 (2005) : SiPSE による 3D 衛星画像の作り方と読み方, 古今書院, 111
- 13) 気象庁 : 桜島火山活動解説資料平成 20 年 4 月 12 日
- 14) 気象庁 : 桜島火山活動解説資料平成 20 年 2 月 6 日
- 15) 桜島昭和火口付近 : <http://es.educ.kumamoto-u.ac.jp/volc/sakushowa/>
- 16) 気象庁 : (1995) : 火山報告 平成 4 年, 32 (1)
- 17) 気象庁 過去の気象データ検索 : <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/>